

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

METEOSTANICE PRO MODELÁŘE

METEOSTATION FOR MODELLERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Andrej Vlasatý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2017



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Andrej Vlasatý

ID: 173778

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Meteostanice pro modeláře

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte meteostanici pro modeláře, která bude umožňovat měření rychlosti a směru větru, srážek, teploty, tlaku a vlhkosti. Při návrhu kladte důraz na možnost vzdáleného sledování měřených veličin přes on-line prostředí s možností zobrazení historie měřených záznamů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Hlavným cieľom tohto projektu bolo navrhnúť a postaviť bezdrôtovú meteostanicu pre modelárov so zobrazením údajov online. Dôraz bol kladený na bezdrôtový prenos a snímanie smeru a rýchlosti vetra.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

bezdrôtová meteostanica, CC3200, nRF24L01+, webový server

ABSTRACT

The main purpose of this project was to design and build a meteostation for modellers with the display of online data. We emphasized a wireless transmission and scanning the direction and speed of wind.

KEYWORDS

wireless meteostation, CC3200, nRF24L01+, web server

VLASATÝ, Andrej *Meteostanica pre modelárov*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2017. 51 s. Vedúci práce bol doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Meteorostanica pre modelárov“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Pavlovi Šteffanovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	7
1 Rešerš	8
1.1 Meteostanica	8
1.2 Inštalácia meteostaníc	9
2 Teoretická časť	11
2.1 Komunikácia	11
2.1.1 CC3200 LaunchPad	11
2.1.2 Mikrokontrolér	12
2.1.3 I2C	12
2.1.4 SPI	14
2.1.5 NRF24L01	16
2.2 Snímače	18
2.2.1 Meranie teploty a vlhkosti	18
2.2.2 Meranie tlaku	19
2.2.3 Anemometer	21
3 Realizácia	25
3.1 Obvodové riešenie	25
3.2 Program	27
4 Výsledky práce	33
4.1 Inštalácia zariadenia	37
5 Záver	38
Literatúra	39
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	41
6 Prílohy	45

ÚVOD

Táto práca sa venuje oblasti merania meteorologických prvkov, ich snímaniu a následnému zobrazeniu. V dnešnej dobe je už základným predpokladom znalosť poveternostných podmienok, obzvlášť pre modelárov, ktorí tento poznatok potrebujú pre svoju činnosť. Bežne dostupným riešením sú rôzne produkty, kde si dané veličiny môžete zobraziť na displeji, priamo v mieste merania, prípadne v tesnej blízkosti. Nevýhoda môže byť pre väčšinu neprijateľná, pretože miesto merania nie je dostupné, prípadne z iných dôvodov nemožné vidieť v dobe, kedy je to potrebné vedieť. Dnes je takmer bežne dostupné WiFi pripojenie, prípadne väčšina z nás má možnosť internetového pripojenia vo svojom mobilnom telefóne. Preto som sa rozhodol vytvoriť meteostanicu so zobrazením údajov online.

Práca je rozdelená na štyri základné kapitoly. Na úvod rešerš o meteostaniciach, ich použití v praxi a uvedení do problematiky získavania týchto dát. Nasledujúca kapitola sa venuje teoretickému rozboru obvodovej a programovej časti práce, použitiu komunikačných protokolov, vybraných senzorov a ich popisu. V druhej polovici práce je popis vlastne navrhnutého zariadenia, jeho rozbor, konštrukcia a samotný návrh. Na záver zhrnutie výsledkov s možnosťami na zlepšenie práce.

Cieľom tejto práce je komplexný návrh a následná realizácia daného zariadenia po hardwarovej ale aj softwarovej stránke. Hardware je rozdelený na dva základné komponenty. Prvou je snímanie dát a ich odoslanie do druhého obvodu, ktorý má za úlohu pripojenie k Wifi a odoslanie dát na webserver. Software je rozdelený na snímáciu a zobrazovaciu časť. Snímacia časť je napísaná v jazyku C a stará sa o snímanie dát zo snímačov a ich odoslanie na webserver. Zobrazovacia časť, prevažne v skriptovacom jazyku php, prijme odoslané dáta, uloží do databázy a následne zobrazí na požadovanej webovej stránke. Dáta je možné zobraziť si v tabuľke za posledné obdobie a taktiež možnosť zobrazenia histórie nameraných dát v podobe grafov za vybrané obdobie (posledný týždeň/mesiac/rok/celé obdobie).

1 REŠERŠ

Táto časť sa zaoberá existujúcimi riešeniami bezdrôtových meteostaníc a ich porovnaním.

Meteostanice sú dostupné v rôznych tvaroch a veľkostiach s rôznymi funkciami. Či už sa líšia v použití alebo cene, existujú rôzne varianty. Na trhu sú 2 základné rozdelenia staníc:

- Drôtová – starší typ, dnes sa už bežne nepredáva, sú náročnejšie na inštaláciu, čo zaberá viac času a určité množstvo práce
- Bezdrôtová – moderný typ a ako aj iné zariadenia, meteostanice sa taktiež vo väčšom vyrábajú v bezdrôtovej verzii, sú jednoduchšie na inštaláciu a obsluhu

Keďže sa táto práca zaoberá bezdrôtovou meteostanicou, budem sa viac venovať tejto kategórii.

1.1 Meteostanica

Meteostanica je zariadenie pre meranie meteorologických veličín.

Meteostanice typicky obsahujú nasledovné nástroje:

- Teplomer – prístroj pre meranie teploty
- Barometer – prístroj pre meranie atmosférického tlaku
- Vlhkomer – prístroj pre meranie relatívnej vlhkosti vzduchu
- Anemometer – prístroj pre meranie rýchlosti a smeru vetra
- Pyranometer – prístroj pre meranie slnečného žiarenia
- Zrážkomer – prístroj pre meranie zrážkového úhrnu

Pri výbere meteostanice sa prihliada na niekoľko základných bodov:

- Inštalácia – je nutné aby inštalácia meteostanice bola jednoduchá. Pri oddelených meracích prístrojov v tom môže byť neporiadok. Je vhodné vybrať stanicu, v ktorej sú už prístroje pripravené na používanie a pred prvým zapnutím je požadovaná len minimálna inštalácia spolu s vložení batérií.
- Maximálny bezdrôtový dosah – veľmi dôležitý parameter v prípade použitia stanice mimo domova. Parameter sa líši od prostredia kde je použitá, štruktúry okolia, taktiež aj na RF (Radio Frequency – Rádiové vlny) rušení. Je vhodné vybrať stanicu s maximálnym dosahom vo svojom rozpočte.
- Frekvencia aktualizácie – na prvý pohľad nie moc dôležitá informácia, je podstatné aby stanica aktualizovala často sa meniace veličiny, akými sú smer

a rýchlosť vetra, prípadne zrážky, sneženie. Niektoré veličiny nie je nutné merať často, napr. teplota, tlak, vlhkosť. Existuje mnoho staníc, ktoré majú túto dobu od 30 sekúnd až po 3 minúty, čo môže byť nepohodlné pre užívateľa. Vonku môžu nastať náhle zmeny ako dážď, sneh a na displeji budú iné informácie.

- Presnosť merania – informácie môžu byť zobrazené na displeji, je podstatné aby im užívateľ porozumel. V prípade malých displejov môže byť problematické rozlíšiť zobrazované dáta. Presnosť a rozsah stanice musia byť veľmi dobré, takže zobrazované dáta sú presnejšie.
- Zobrazenie – väčšina staníc ponúka zobrazenie len na displeji, niektoré modely obsahujú software s možnosťou pripojenia k PC, taktiež obsahujú pamäť kde sa ukladajú priebežné dáta a je možnosť ich zobraziť v grafe.
- Cena – meteostanice prichádzajú v širokej škále, preto je nutné si stanoviť rozpočet. Pri nízkej cene nebude mať stanica mnoho funkcií, s rastúcou cenou sa menia parametre stanice, taktiež ich kvalita.
- Napájanie - je dôležité sa správne rozhodnúť aké sú možnosti napájania. Väčšina bezdrôtových staníc, hlavne samotný snímač, potrebuje AA batérie pre svoje napájanie. U zobrazovacej jednotky to už býva voliteľné, pričom je možné použiť AA batérie alebo napájanie zo siete. Novšie modely môžu obsahovať napájanie zo solárneho článku.

Vyššie uvedené stanice, okrem vyšších modelov, zobrazujú dáta len v blízkosti merania. Túto nevýhodu čiastočne riešia online služby, kde si možno zobraziť už zaregistrované stanice. Medzi najznámejšie, s viac než 200000 stanicami po celom svete, patrí Personal Weather Station Network, ktorá poskytuje možnosť vyhľadať dané miesto, prípadne ho nájsť v interaktívnej mape a zobraziť informácie kdekoľvek s internetový pripojením.

1.2 Inštalácia meteostaníc

Miesto meteostanice je jeden z najdôležitejších parametrov pri inštalácii. Ak sa stanica nachádza pod stromom, prípadne pod akýmkoľvek iným útvarom, niektoré hodnoty zo snímačov nebudú správne. Ide hlavne o zrážkomer. Podobne by stanica nemala byť umiestnená v „uličke“ napr. medzi dvoma budovami. V tomto prípade by mohlo dôjsť k efektu vetrného tunela a hodnoty z anemometra by boli chybné. Ideálne polozenie stanice je v dostatočnej vzdialenosti od akéhokoľvek objektu a tak, aby nebola stanica ničím krytá. Ideálne uloženie stanice je na obrázku 1.1.



Obr. 1.1: Príklad inštalácie meteostanice [6]

Častá chyba pri inštalácii meteostanice je pri umiestnení snímača teploty. Meteorológovia definujú teplotu ako teplotu v tieni s dostatočným vetraním. Pri umiestnení snímača teploty je vhodné sa držať nasledujúcich zásad:

- Snímač sa nikdy neumiestňuje na priame slnečné svetlo.
- Umiestnenie do dobre vetraného priestoru.
- V prípade umiestnenia na streche je potrebné aby bol aspoň 1,5 m nad strechou.
- V prípade umiestnenia nad zemou, taktiež potrebné aby bol aspoň 1,5 m nad trávou.
- Snímač je najmenej 15 m od spevneného povrchu.
- Vhodné umiestnenie je do radiačného štítu.

Vlhkomer je citlivý na rastliny a vodné zdroje, preto by mal byť umiestnený aspoň 15 m od týchto zdrojov.

Zrážkomer by mal byť umiestnený vo voľnom priestranstve, aspoň 1,5 m od najbližšej prekážky, pričom záleží od jej veľkosti.

Anemometer je tiež vhodné umiestniť do voľného priestranstva, minimálne 10 m nad zemou. Ideálne umiestnenie je ako najvyšší objekt v okolí, aspoň 7 m nad okolité objekty.

2 TEORETICKÁ ČASŤ

Táto kapitola sa zaoberá výberom komponentov, medzi ktoré patrí mikroprocesor, zariadenie na prenos dát, snímače použité v zariadení a použité komunikačné protokoly pri obsluhu snímača mikroprocesorom.

2.1 Komunikácia

2.1.1 CC3200 LaunchPad

SimpleLink™ Wi-Fi® CC3200 LaunchPad™ [4] je vývojová platforma s MCU (Microcontroller – Mikrokontrolér) CC3200 od firmy Texas Instruments so vstavaným Wifi pripojením. Dosku možno priamo pripojiť pomocou USB (Universal Serial Bus – Univerzálna sériová zbernica) k PC a jednoducho naprogramovať pomocou rôznych vývojových štúdií – Code Composer Studio™, IAR Embedded Workbench, Energia.

Vlastnosti:

- CC3200 Wifi (802.11b/g/n štandard) MCU v QFN púzdre. ARM Cortex-M4 s 80MHz hodinami.
- Možnosť prevádzkovať ako vlastný server, bezdrôtový prístupový bod a priame pripojenie.
- 4kanálový 12bitový ADC (Analog to Digital converter – Analógovo-digitálny prevodník), 256 kB RAM, 16 bitové PWM, I2S¹, I2C (Inter-Integrated Circuit) 2.1.3, UART (Universal asynchronous receiver/transmitter – Univerzálny asynchrónny prijímač/vysielač)
- USB rozhranie na pripojenie k PC.
- 2×20pin konektor k pripojeniu rozširujúcich dosiek.
- Samostatná vývojová platforma obsahujúca senzory, LED (Light-emitting diode – Luminiscenčná dióda) a tlačidlá.
- Možnosť rôzneho napájania – USB, AA batérie.

Doska a jednotlivé vstupy a výstupy sú zobrazené v prílohe 6.4. Systém riadenia zahŕňa DC-DC menič, ktorý podporuje širokú škálu napájacích napätí. Tento subsystém umožňuje režim nízkej spotreby, ako napríklad režim hibernácie s RTC režimom, ktorý vyžaduje menej ako 4 μ A.

¹I2S (Inter-IC Sound, Integrated Interchip Sound) je digitálna zbernica pre pripojenie digitálnych audio zariadení.

2.1.2 Mikrokontrolér

Na trhu je veľké množstvo MCU s možnosťou výberu podľa rôznych kritérií:

- Rodina - medzi najznámejšie jednoduchšie patria MCU od firmy Atmel, Microchip, TI.
- Šírka zbernice - 8, 16, 32bit. Označuje veľkosť internej a externej dátovej zbernice, šírky registrov na aritmetické a logické operácie.
- Spotreba - vzhľadom k aplikácií a možnosti napájania z fotovoltaiického panelu je nutné aby táto hodnota bola čo najmenšia.
- Periférie - každé MCU obsahuje rôzne periférie. Medzi základné patrí I2C, SPI (Serial Peripheral Interface – Sériové Periférne Rozhranie), UART.

Vzhľadom na predchádzajúce kritéria a dostupnosť nástrojov od firmy Atmel s dobrou dokumentáciou bol vybraný MCU ATmega328P v SMD verzií, kde „P“ označuje picoPower, ako zariadenie s nízkym odberom. Výhodou tohoto MCU je možnosť nastaviť prerušenie pri zmene logickej hodnoty pinu na ktorýkoľvek vstupno/výstupný pin. Niektoré parametre sú zobrazené v tabuľke 2.1.

Tab. 2.1: Parametre ATmega328P [3]

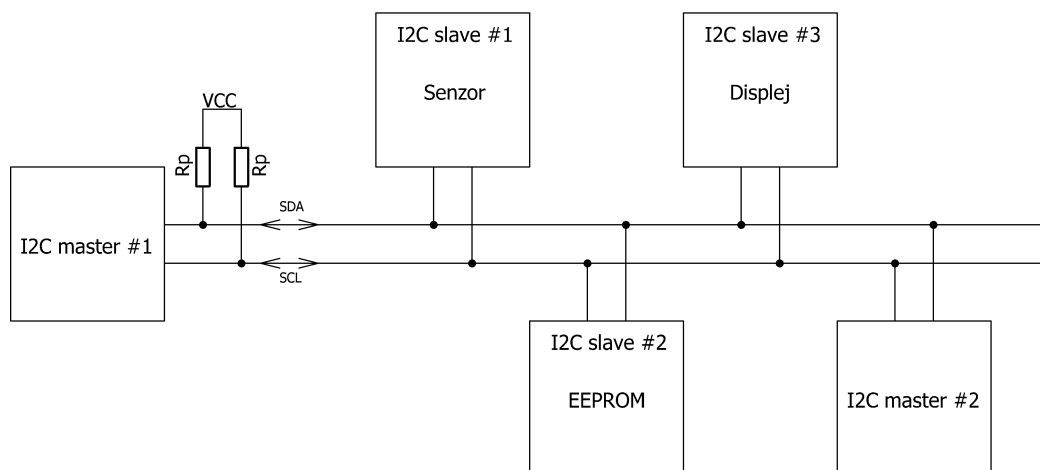
Výrobca	Šírka zbernice	Časovače	Periférie	Spotreba	Cena
Atmel	8 bitov	2×8bit, 1×16bit	I2C, SPI, UART	0,1 μ A	84 Kč

2.1.3 I2C

I2C je svetový štandard, ktorý je implementovaný vo viac ako 1000 rôznych obvodoch.

Niekoľko funkcií zbernice:

- Potrebné len 2 vodiče – SDA (Serial Data Line) a SCL (Serial Clock Line).
- Žiadne presné prenosové rýchlosti, master generuje hodiny.
- Jednoduchá komunikácia master/slave so všetkými zariadeniami na zbernici. Každé zariadenie je softwarovo adresované podľa unikátnej 7 bitovej adresy, takže nie je možné použiť 2 zariadenia s rovnakou adresou na 1 zbernici. Niektoré zariadenia majú vstupné piny pre nastavenie adresy. Master môže pracovať ako master-vysielač ale aj ako master-prijímač.
- Sériová, 8bitová zbernica môže pracovať v 4 rôznych módoch, 100 kbit/s v štandardnom móde, 400 kbit/s v rýchlom móde, 1 Mbit/s v rýchlom móde plus alebo 3,4 Mbit/s vo vysoko rýchlostnom móde.
- Počet IO (Integrated circuit – Integrovaný obvod) na zbernici je limitovaný počtom adres a maximálnou kapacitou zbernice.
- Povolený multi-master mód, kde na zbernici je niekoľko master čipov.



Obr. 2.1: Príklad použitia I2C s 2 master zariadeniami

Na obrázku 2.1 je zobrazené zapojenie zariadení k zbernici. Vodiče SDA a SCL sú pripojené ku všetkým zariadeniam na zbernici. Zbernica je v móde open drain, čo znamená, že IO môže nastaviť zbernicu na LOW, ale nikdy na HIGH. Preto je nutné pripojiť pull-up rezistory na 5 V napájanie. Postačuje jeden pár rezistorov pre celú zbernicu, nie je nutné ich pripájať pre každé zariadenie. Hodnota rezistorov nie je kritická a pohybuje sa od 1k8 až po 47 k Ω , najpoužívanjšie sú 4k7 a 10 k Ω pri 3,3V alebo 5V napájaní.

Dáta na SDA sú platné len v prípade HIGH na SCL. Jeden hodinový pulz je generovaný pre každý prenesený bit. V prípade prenosu master generuje clock na SCL a všetky zariadenia počúvajú na SDA, adresa určuje, ktoré zariadenie bude odpovedať. Každý prenos musí začínať START(S) a končiť STOP(P) podmienkou. Tieto podmienky sú vždy generovaný mastrom.

Situácie, ktoré môžu nastať na zbernici:

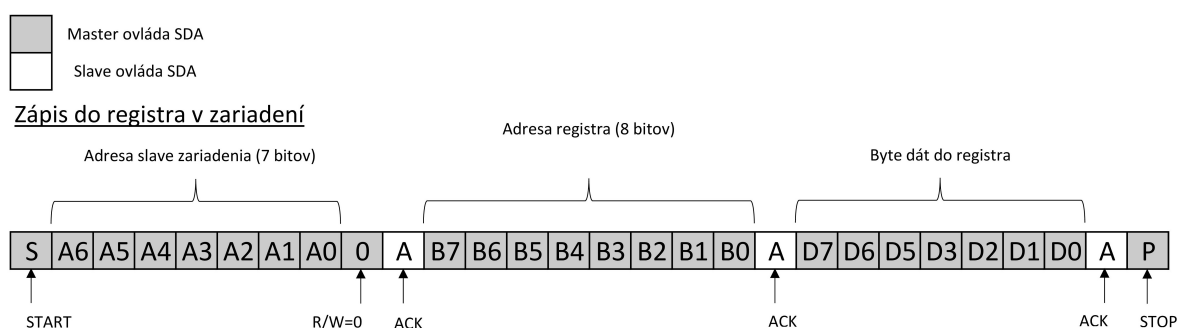
- Neutrálny stav – SDA a SCL sú v HIGH a zbernica je neaktívna.
- Start START(S) podmienka – prechod z HIGH do LOW na SDA pokiaľ je SCL v HIGH.
- Stop STOP(P) podmienka – prechod z LOW do HIGH na SDA pokiaľ je SCL v HIGH.
- Potvrdenie – prijímač potvrdí prijatie bytu ACK (Acknowledge) bitom, tým povolí zariadeniu odoslať ďalší byte.

Po START podmienke nasleduje 8bitová informácia (adresa), kde 7 bitov je adresa zariadenia a 1 R/W (read/write) LSB (Least significant bit – Najmenej významný bit) bit, ktorý určuje čítanie/zápis a je súčasťou adresy. Logická 0 znamená zápis

a logická 1 čítanie. V prípade prenosu viac ako 8 bitov je nutné odoslať opakovanú START(Sr) podmienku, ktorá je rovnaká ako START podmienka. Po každom byte, slave odošle ACK bit, ktorý signalizuje, že byte bol úspešne prijatý a je možné odoslať ďalší byte. V prípade ukončenia čítania, prípadne inej chyby sa odošle NACK (Not Acknowledge) bit.

Zápis vysvetľuje obrázok 2.2, ktorý pozostáva z nasledujúcich častí:

1. Odoslanie START(S) podmienky.
2. Odoslanie adresy master-slave – 7 bitová adresa, kde LSB je 0 pre zápis.
3. Odoslanie čísla registru na zápis/čítanie.
4. Odoslanie 1 bytu dát. V prípade viac bytov opakovať tento bod.
5. Odoslanie STOP(P) podmienky.



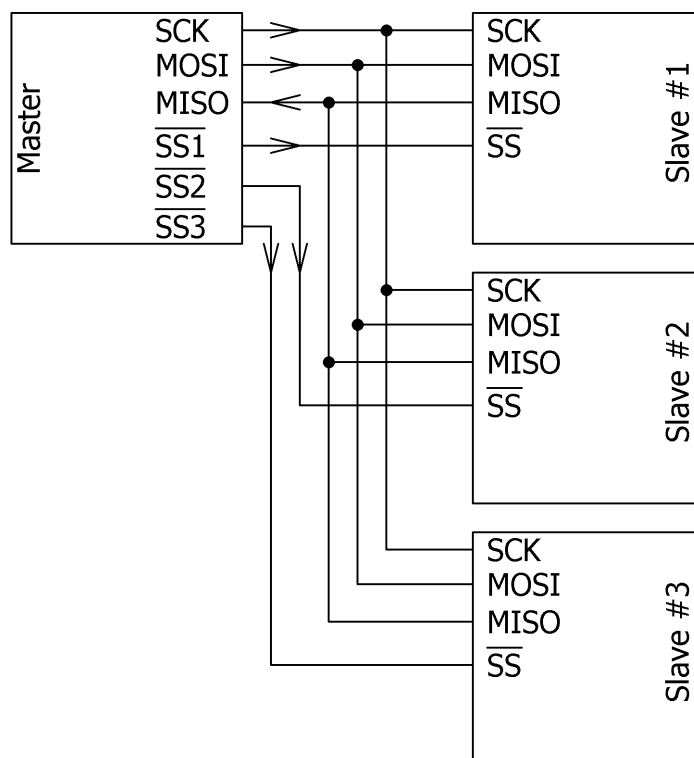
Obr. 2.2: Zápis dát po I2C zbernici [8]

Čítanie je principiálne podobné ako zápis a pozostáva z nasledujúcich častí:

1. Odoslanie START(S) podmienky.
2. Odoslanie adresy master-slave – 7 bitová adresa, kde LSB je 0 pre zápis.
3. Odoslanie čísla registru na čítanie.
4. Odoslanie START(Sr) podmienky.
5. Odoslanie adresy master-slave – 7 bitová adresa, kde LSB je 1 pre čítanie.
6. Čítanie 1 bytu dát. V prípade viac bytov je nutné opakovať tento bod.
7. Odoslanie STOP(P) podmienky.

2.1.4 SPI

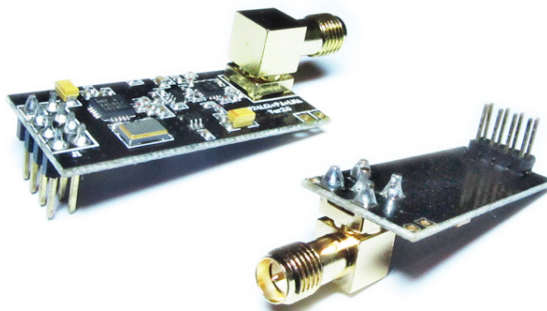
SPI je štvorvodičová (v prípade viacerých slave-ov nutný ďalší chip select vodič) synchrónna sériová zbernica s multi-slave podporou, viď. obr. 2.3.



Obr. 2.3: Multi-slave pripojenie k master [17].

Prenos dát po zbernici začína nastavením hodinového signálu na hodnotu frekvencie, ktorú povoľuje slave. Následne master vyberie požadovaný slave pomocou logickej 1 na SS pin daného zariadenia. Pri každom hodinovom cykle sa odošle jeden bite. V prípade zápisu master-slave využíva sa MOSI (Master Output Slave Input), v prípade slave-master sa využíva MISO (Master Input Slave Output).

2.1.5 NRF24L01



Obr. 2.4: Bezdrôtový modul nRF24L01+ [15]

NRF24L01 je vysielač-prijímač od firmy The Nordic pracujúci v bezlicenčnom pásme 2.4 GHz. Dnes sa už používajú novšie varianty ako nRF24L01+ a nRF24L01+PA (Power amplifier – Výkonový zosilňovač)+LNA (Low Noise Amplifier – Zosilňovač slabých signálov), ktorý bude použitý v tejto práci, takže aj nasledujúci popis sa bude zaoberať ním.

Vlastnosti:

- Možnosť rýchlostí 250 kbps, 1 Mbps a 2 Mbps.
- Výstupný výkon 0, -6, -12 alebo -18 dBm.
- Ultra nízka spotreba 14 mA pri napájacom napätí 1,9 až 3,6 V.
- Rozhranie SPI.
- Konfigurácia frekvenčného kanálu, výstupného výkonu, prenosovej rýchlosti.
- Dosah 100 m na voľnom priestranstve.
- Teoretický dosah až 1000 m pri prenosovej rýchlosti 250 kbps.

Základná špecifikácia modulu nRF24L01+PA+LNA je popísaná v tabuľke 2.2:

Tab. 2.2: nRF24L01+PA+LNA modul

Názov	Hodnota
Napájanie	1,9 až 3,6 V (odporúčané 3,3 V)
Prúd v prijímacom móde	45 mA
Prúd v zníženom režime	4,2 μ A
Maximálny výstupný výkon	+20 dBm
2MB rýchlosť (otvorený priestor)	520 m
1MB rýchlosť (otvorený priestor)	750 m
250Kb rýchlosť (otvorený priestor)	1000 m
Cena	150 Kč (Ebay)

Modul nRF24L01+ používa protokol Enhanced ShockBurst™, ktorý zabezpečuje správne časovanie a automatickú prácu s odosielanými paketami.

- Preamble – bitová sekvencia, ktorá sa používa na synchronizáciu prijímača na prichádzajúce bity.
- Adresa – adresa pre prijímač zabezpečuje, že detekovaný paket je určený pre konkrétny prijímač. Adresu možno nastaviť 3-5bytovú v AW registry 2.3.
- Packet control field – udáva dĺžku odosielanej správy, informáciu, či prijatý paket je nový alebo preposlaný a informáciu o potvrdení príjmu.
- Payload – obsah paketu, jeho dĺžka môže byť 0 až 32 bytov.

Zoznam základných registrov, ktoré možno konfigurovať je zobrazený v tabuľke 2.3

Tab. 2.3: Mapa registrov nRF24L01+ [13]

Adresa	Názov	Resetovacia hodnota	Popis
0x00	Konfigurácia	0x08	Nastavenie IRQ pinu, CRC, napájanie
0x01	EN_AA	0x3F	Povolenie Enhanced Shockburst™
0x02	EM_RXADDR	0x03	Povolenie dátových rúr
0x03	SETUP_AW	0x03	Nastavenie dĺžky adresy
0x05	RF_CH	0x01	Nastavenie frekvencie kanálu
0x06	RF_SETUP	0x0E	Nastavenie rýchlosti prenosu a výkon
0x07	STATUS	0x0E	Informácie o FIFO zásobníku
0x0A-0x0F	RX_ADDR_Pn	X	Nastavenie adresy pre každú rúru
0x10	TX_ADDR	0xE7	Nastavenie vysielacej adresy
0x11-0x16	RX_PW_Pn	0x00	Nastaví dĺžku správy pre každú rúru
0x17	FIFO_STATUS	0x11	Informácia o RX/TX FIFO zásobníku
N/A	TX_PLD	X	Obsahuje správu pre vysielanie
N/A	RX_PLD	X	Obsahuje prijatú správu

2.2 Snímače

Pri volení správneho snímača je podstatných niekoľko parametrov:

- Rozhranie – existuje veľké množstvo rozhraní, ktorými možno pripojiť snímač k MCU. Najpoužívanjšie sú I2C, SPI, 1-Wire, Analógové, atď. Každé má svoju výhodu a nevýhodu. V tejto práci je použité I2C, kvôli jeho jednoduchému protokolu a implementácii.
- Presnosť – úzko súvisí s ďalším parametrom – cena. Čím je presnosť vyššia, tzn. menšia chyba, tým sa zvyšuje aj cena snímača. Dnes už aj pri nižšej cene možno očakávať dobrú presnosť, zväčša rádovo niekoľko %.
- Cena – odvíja sa od viacerých parametrov. Najväčšiu rolu v tom hrá presnosť, no taktiež aj druh a typ snímača.

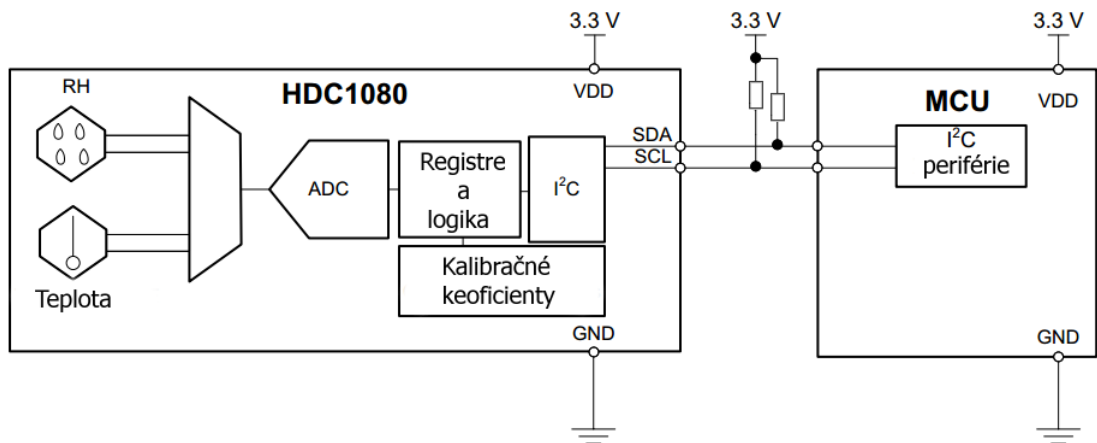
2.2.1 Meranie teploty a vlhkosti

Teplotné snímače sú používané pre snímanie teploty okolia. Všetky fungujú podobným spôsobom, ale majú rôzne vlastnosti. Či už je záujem o veľkú presnosť alebo široký rozsah merania, je dôležité sa správne rozhodnúť. Najpoužívanjšie teplotné snímače sú popísané v tabuľke 2.4

Tab. 2.4: Snímače teploty a vlhkosti

Názov	HDC1080	DS18B20	SHT25	LM35	BME280
Presnosť teploty	$\pm 0,2$ °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,2$ °C	$\pm 0,5$ °C	± 1 °C
Rozsah teploty	-40 až +125 °C	-55 až +125 °C	-40 až +125 °C	-55 až +150 °C	-40 až +85 °C
Presnosť vlhkosti	± 2 %RH	-	$\pm 1,8$ %RH	-	± 3 %RH
Rozsah vlhkosti	0 až 100 %RH	-	0 až 100 %RH	-	0 až 100 %RH
Rozhranie	I2C	1-Wire	I2C	Analog	I2C/SPI
Cena	80 Kč	73 Kč	308 Kč	38 Kč	190 Kč

Pre tento projekt bol vybraný senzor HDC1080 [5] od firmy Texas Instruments. HDC1080 je digitálny senzor vlhkosti s integrovaným teplotným senzorom, ktorý poskytuje skvelú meráciu presnosť v 14bitovom rozlíšení pri veľmi nízkom napájaní. Senzor je kalibrovaný z výroby. HDC1080 pracuje iba ako slave, takže MCU pracuje ako nadradené zariadenie. Obsahuje niekoľko dátových registrov, v ktorých je uložená konfigurácia a výsledok meranej teploty a vlhkosti. Zoznam a ich adresy sú zobrazené v tabuľke 2.5. Typické zapojenie je na obrázku 2.5, spôsob komunikácie je popísaný v kapitole I2C 2.1.3.



Obr. 2.5: Typické zapojenie HDC1080 [5]

Tab. 2.5: Mapa registrov HDC1080 [5]

Adresa	Názov	Resetovacia hodnota	Popis
0x00	Teplota	0x0000	Výstup meranej teploty
0x01	Vlhkosť	0x0000	Výstup meranej relatívnej vlhkosti
0x02	Konfigurácia	0x1000	Konfigurácia HDC1080 a status
0xFE	ID výrobcu	0x5449	ID Texas Instruments
0xFF	ID zariadenia	0x1050	ID zariadenia

Teplota Register teploty je 16bitový register v binárnom formáte, kde 2 LSB bity D1 a D0 sú vždy 0. Pre získanie teploty v °C sa použije zvyšných 14 bitov a vloží do nasledujúceho vzťahu:

$$\text{teplota} = \frac{\text{TEPLOTA}[15 : 00]}{2^{16}} * 165 - 40 \text{ } [^{\circ}\text{C}] \quad (2.1)$$

Vlhkosť Register vlhkosti je 16bitový register v binárnom formáte, kde 2 LSB bity D1 a D0 sú vždy 0. Pre získanie vlhkosti v %RH sa použije zvyšných 14 bitov a vloží do nasledujúceho vzťahu:

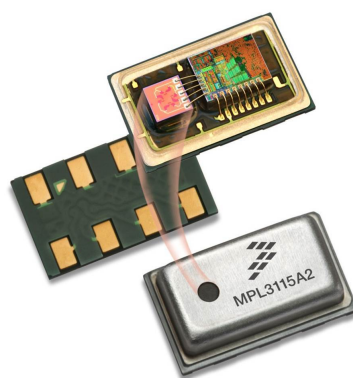
$$\text{vlhkosť} = \frac{\text{VLHKOST}[15 : 00]}{2^{16}} * 100 \text{ } [\%] \quad (2.2)$$

2.2.2 Meranie tlaku

Bežne dostupné snímače tlaku merajú absolútny tlak, ktorý je následne nutné prepočítať na relatívny podľa nadmorskej výšky. Porovnanie snímačov so štandardizovaným rozhraním I2C/SPI sú zobrazené v tabuľke 2.6.

Tab. 2.6: Snímače tlaku

Názov	BMP085	BMP280	BME280	MPL3115A2
Presnosť tlaku	$\pm 1,5$ hPa	$\pm 1,0$ hPa	$\pm 1,0$ hPa	$\pm 0,4$ hPa
Rozsah tlaku	300 až 1100 hPa	300 až 1100 hPa	300 až 1100 hPa	200 až 1100 hPa
Rozhranie	I2C	I2C/SPI	I2C/SPI	I2C
Cena	94 Kč	62 Kč	190 Kč	77Kč



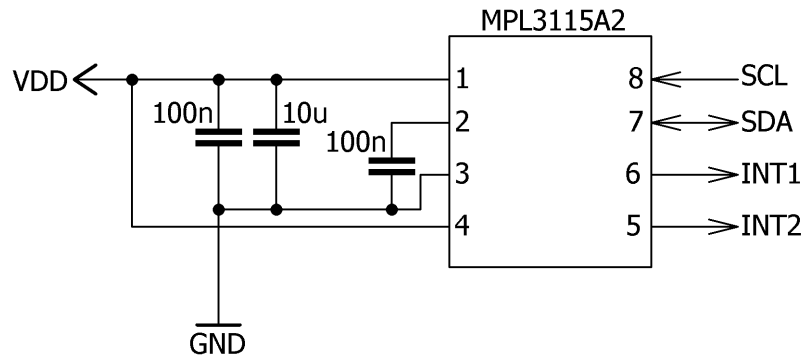
Obr. 2.6: Senzor tlaku MPL3115A2 [11]

Z hľadiska meracieho rozsahu a presnosti bol pre túto prácu vybraný senzor MPL3115A2 [12] od firmy NXP. Ide o senzor absolútneho tlaku s I2C digitálnym rozhraním. Senzor je kompenzovaný teplotným senzorom, ktorý je implementovaný priamo na chipe.

Kľúčové vlastnosti:

- Napájacie napätie 1,95 do 3,6 V.
- Priame čítanie tlaku v 20bitovom rozlíšení (200 do 1100 hPa).
- Priame čítanie nadmorskej výšky v 20 bitovom rozlíšení (-698 až 11775 m).
- Priame čítanie teploty v 12bitovom rozlíšení (-40 do 85 °C).
- Programovateľné prerušenia.
- Možnosť uchovať dáta až 12 dní použitím FIFO.

Typické zapojenie snímača je na obrázku 2.6, spôsob komunikácie je popísaný v kapitole I2C 2.1.3.



Obr. 2.7: Typické zapojenie MPL3115A2 [12]

Hodnota tlaku je prezentovaná v tvare Q18.2, kde 18 bitov udávajú celú časť a 2 bity desatinnú časť. Pre jeho získanie je nutné prečítať tri dátové registre – OUT_P_MSB(01h), OUT_P_CSB(02h) a 6. a 7. bit registra OUT_P_LSB(03h) obsahujú celú časť tlaku v pascaloch. 5. a 4. bit registra OUT_P_LSB obsahujú desatinnú časť hodnoty tlaku. Kompenzovaný tlak možno prepočítať do nadmorskej výšky použitím nasledovného vzťahu [11]:

$$h = 44330,77 \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{0,1902632} \right\} + Offset \quad [\text{m}] \quad (2.3)$$

kde

h : nadmorská výška

p_0 : hodnota nadmorského tlaku (101326 Pa)

p : zmeraný tlak

$Offset$: offset nadmorskej výšky

2.2.3 Anemometer

Pre meranie smeru a rýchlosti vetra a množstva zrážok je použité komerčné riešenie od firmy Hadex². Zariadenie pozostáva z 3 častí pre meranie troch základných veličín.

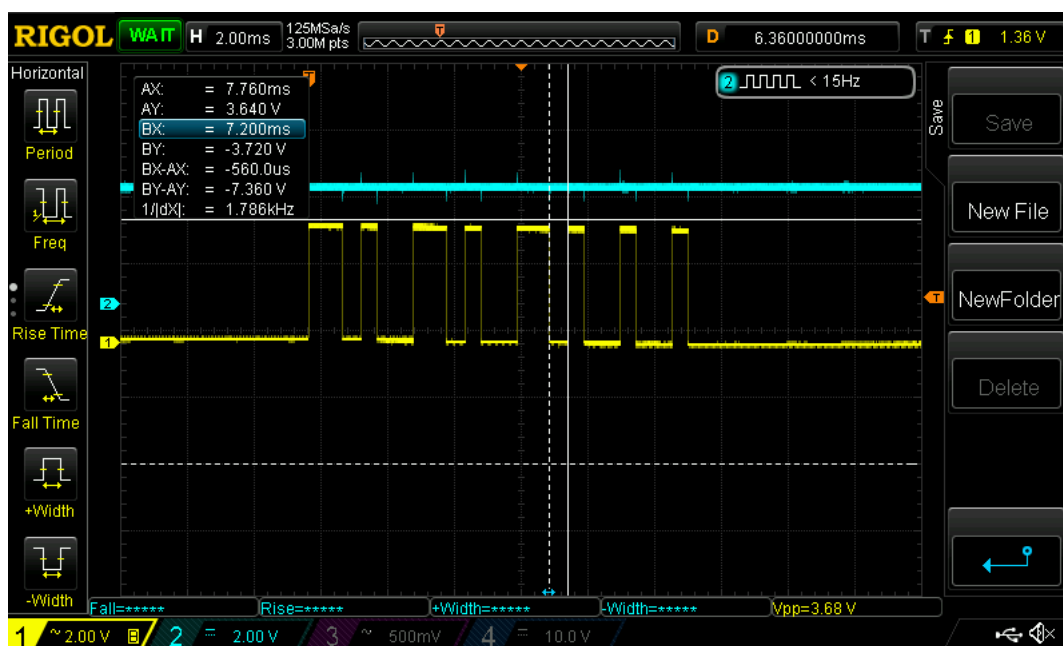
²Kompletná vonkajšia jednotka k meteostanici WH5029 <https://goo.gl/r0lzyM>



Obr. 2.8: Anemometer

Smer vetra

Zariadenie obsahuje vrtuľu, ktorá sa otáča po svojej osi podľa smeru vetra. K nej je pripojený magnet, 8 hallových senzorov a IO pre detekciu pozície magnetu a tým detekovanie smeru vetra. Pozíciu magnetu, ktorú mení vietor a jeho náraz do vrtule detekuje hallov senzor a následne vyhodnotí IO, ktorý periodicky odosiela vyhodnotenú digitálnu dáta do nadradeného systému v podobne 8bitovej informácie. Pre ukážku znázornený smer vetra juh 2.9 (ostatné základné smery sú zobrazené v prílohe 6.1, 6.2 a 6.3):



Obr. 2.9: Smer vetra - juh

Logickú 0 prezentuje krátky pulz – $500 \mu\text{s}$. Logickú 1 prezentuje dlhý pulz – $1000 \mu\text{s}$. Ako vidieť, dĺžka dát je 8 bitov, pričom 4 MSB (Most significant bit – Najvýznamnejší bit) bity sa nemenia, čo tvorí adresu. Pri zmene smeru sa menia 4 LSB bity, čo tvorí maximálny počet 2^4 kombinácií smeru. Prevodná tabuľka pre získanie smeru vetra je zobrazená v tabuľke 2.7.

Tab. 2.7: Tabuľka prevodu data na smer

Data	Smer	Data	Smer
0b0000	Sever	0b1000	Juh
0b0001	Sever-severovýchod	0b1001	Juh-juhozápad
0b0010	Severovýchod	0b1010	Juhozápad
0b0011	Východ-severovýchod	0b1011	Západ-juhozápad
0b0100	Východ	0b1100	Západ
0b0101	Východ-juhovýchod	0b1101	Západ-severozápad
0b0110	Juhovýchod	0b1110	Severozápad
0b0111	Juh-juhovýchod	0b1111	Sever-severozápad

Rýchlosť vetra

Anemometer typu pohár meria rýchlosť vetra zopnutím kontaktu – jazýčkový kontakt. Rýchlosť vetra $2,4 \text{ km/h}$ spôsobí uzavretie kontaktu raz za sekundu. Tento

prepínač je pripojení pomocou dvoch vodičov použitím RJ11 kábla k nadradenému zariadeniu. Z predchádzajúceho text vyplýva, že pre získanie rýchlosti sa zmeria čas medzi dvoma prerušeniami a z toho pomocou nasledujúceho vzťahu sa získa rýchlosť:

$$\text{rýchlosť} = \frac{1}{\text{perióda}} \cdot 2,4 \text{ [km/h]} \quad (2.4)$$

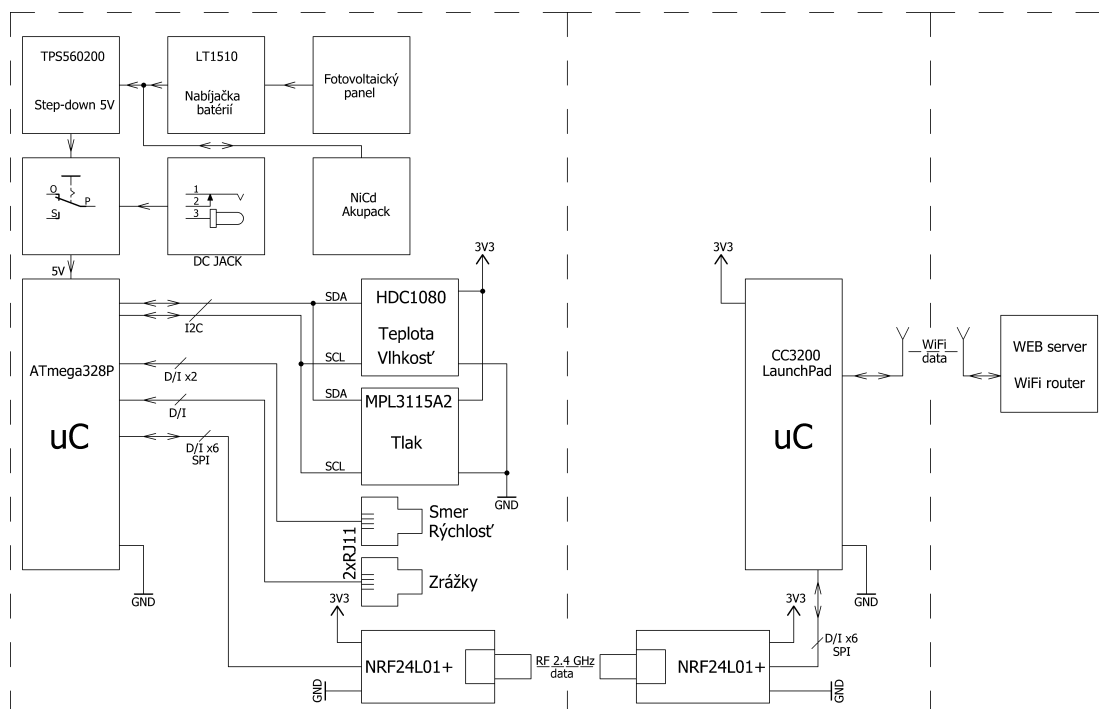
Zrážky

Zrážkomer je konštruovaný ako samovyprázdňovacia sklápacia nádoba. Každých 0,2794 mm dažďu spôsobí jednorázový krátky impulz, ktorý možno zaznamenávať na počítadle, resp. pripojiť na prerušenie MCU.

3 REALIZÁCIA

3.1 Obvodové riešenie

Aplikácia využíva tri nezávislé systémy. Dva, ktoré spolu bezdrôtovo komunikujú pomocou nRF24L01+ 2.1.3 a tretí systém pre správu a zobrazenie nameraných dát. Jednotlivé bloky možno nižšie vidieť oddelene.



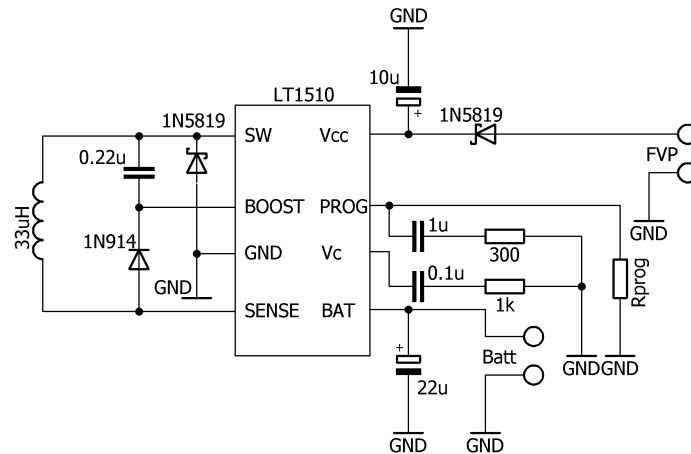
Obr. 3.1: Bloková schéma

Bloková schéma popisuje principiálne zapojenie MCU so senzormi a ďalším obvodom. Zariadenie bude umiestnené v exteriéri. Aplikáciu možno napájať pomocou adaptéra, čo vedie k privedeniu napájania k zariadeniu a tým sa čiastočne obmedzí bezdrôtové použitie. Druhou variantou je použitie fotovoltaiického panelu. S tým súvisí akumulovanie energie. Z dôvodu nízkych teplôt počas zimných mesiacov boli vybrané NiCd batérie. S použitím v exteriéri je potrebné brať k úvahy aj zvýšenú vlhkosť a zhoršené poveternostné podmienky. Medzi hlavné problémy patrí nízka teplota v zimnom období a dážď. Pre zamedzenie vniknutiu vody je potrebné použiť vode-odolnú krabičku s krytím minimálne IPX4 (2. číslica udáva stupeň ochrany pred vniknutím vody, 4 – dážď). Výhody a základné parametre NiCd batérií:

- Odolnejšie voči prebývaniu a pod-vybitiu.
- Dlhšia životnosť, 1000-2000 cyklov.

- Možnosť prevádzky v nižších teplotách -20 °C.
- Široký rozsah kapacity, 60-8000 mAh.

O nabíjanie sa stará obvod od firmy Linear Technology LT1510 [9], ktorý je primárne určený pre nabíjanie NiCd, NiMH a Lithium-Ion batérií. Na vstup je pripojené jednosmerné napätie z fotovoltaičského panelu. Pre nastavenie nabíjacieho prúdu je potrebný iba jeden 0,1W rezistor. Obvod pracuje na princípe rýchleho spínania (200 alebo 500 kHz). To poskytuje vysokú účinnosť nabíjania a malý rozmer induktora potrebný pre zapojenie, v prúdovom PWM (Pulse width modulation – Pulzne šírková modulácia) režime pre rýchle a efektívne nabíjanie batérií konštantným prúdom alebo napätím. Vnúterné obvody sú schopné dodať jednosmerný prúd 1,5 A, prípadne 2 A v špičkovom režime. Obvod dokáže nabíjať batérie v napäťovom rozsahu 2 až 20 V. Typické zapojenie pre nabíjanie NiCd batérií je zobrazené na obrázku 3.2.

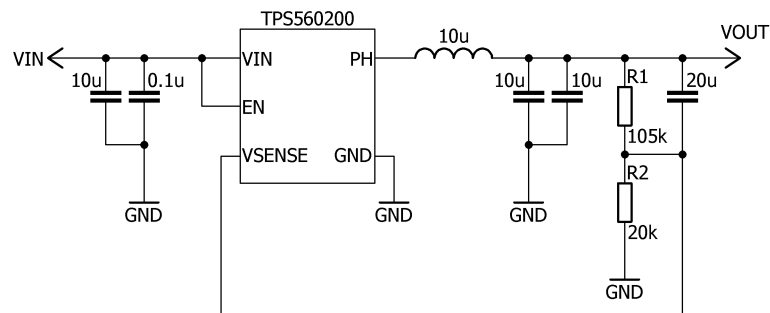


Obr. 3.2: Typické zapojenie LT1510 pre nabíjanie NiCd batérií [9]

Pre výpočet nabíjacieho prúdu je nasledovný vzťah:

$$I_{bat} = \frac{2000 \cdot 2,465}{R_{prog}} \text{ [A]} \quad (3.1)$$

Pre konečné napájanie je použitý step-down obvod od firmy Texas Instrument TPS560200 [19]. Typické zapojenie je na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Typické zapojenie TPS560200 [19]

Výstupný odporový delič určite hodnotu výstupného napätia. Pre toto napätie a určenie odporov je nasledujúci vzťah:

$$V_{out} = \frac{R_1 \cdot 0,8 + R_2 \cdot 0,8}{R_2} \text{ [V]} \quad (3.2)$$

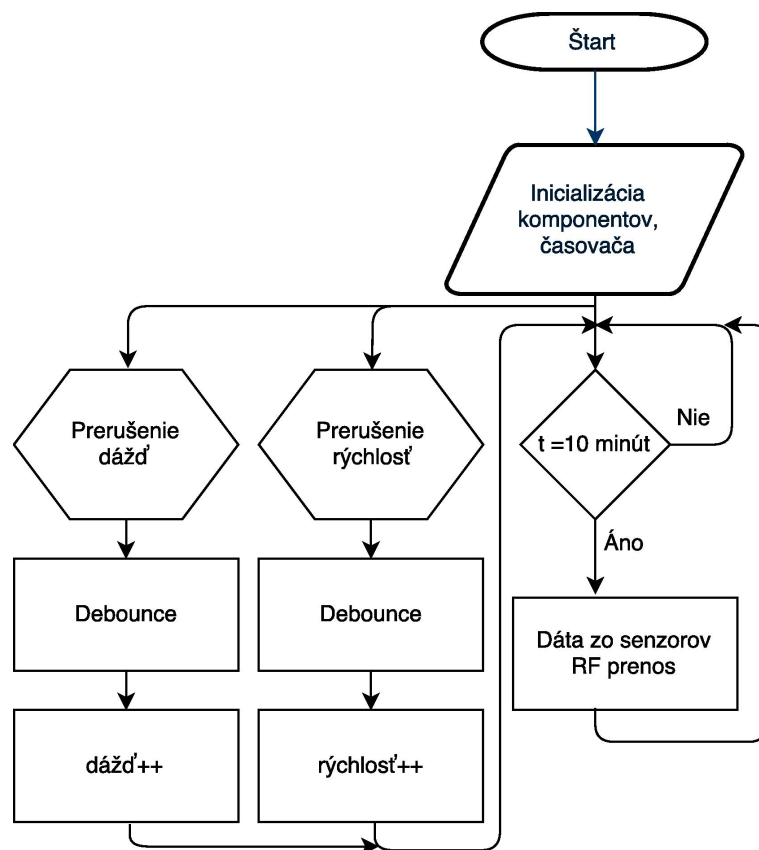
V datasheete pre TPS560200 [19] sú uvedené odporúčané hodnoty odporov pre rôzne hodnoty výstupného napätia. Pre 5 V je $R_1 = 105 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$.

3.2 Program

Ako vyplýva z blokovej schémy 3.1, aplikácia sa skladá z 2 hlavných obvodov, ATmega328P a CC3200 LaunchPad.

ATmega328P

Pre získavanie a prvotné spracovanie dát zo senzorov je MCU ATmega328P 2.1.2. Vývojový diagram programu je na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Vývojový diagram pre ATmega328P

Na začiatku programu prebehne inicializácia senzorov, správne nastavenia časovačov a nastavenie vstupov a výstupov. Následne program čaká v nekonečne slučke a môžu nastať 3 prípady:

- Prerušenie MCU od zrážkomeru – v prípade, že na pine dôjde k zmene logickej úrovne, vyvolá sa prerušenie, ktoré inkrementuje premennú udávajúcu množstvo zrážok za poslednú hodinu. Po uplynutí 60 minút sa táto premenná vynuluje.
- Prerušenie MCU od anemometra – v prípade, že na pine dôjde k zmene logickej úrovne, vyvolá sa prerušenie, ktoré meria periódu medzi dvoma prerušeniami a podľa vzťahu 2.4 sa vypočíta rýchlosť vetra.
- Prerušenie MCU od časovača – snímanie smeru a rýchlosti vetra, množstvo zrážok, teploty, tlaku, vlhkosti, prepočet na ďalšie údaje ako rosný bod a pocitová teplota sa vykonajú raz za 10 minút. Po tomto sa všetky dáta odošlú po paketoch do ďalšieho MCU.

Pred odoslaním je potrebné spočítať niektoré veličiny z nameraných hodnôt. Prepočet absolútneho tlaku na relatívny podľa [16]:

$$p_0 = p_h \cdot e^x \quad [\text{hPa}] \quad (3.3)$$

$$x = \frac{g_0 \cdot h}{R^* \cdot \left(T + Ch \cdot E + a \cdot \frac{h}{2}\right)} \quad (3.4)$$

V prípade, že teplota je menšia ako 9,1 °C pre parameter E sa použije nasledujúci vzťah:

$$E = 9,6402 \cdot \left(-0,0916 + e^{0,06 \cdot t}\right) \quad [\text{hPa}] \quad (3.5)$$

V prípade, že teplota je vyššia alebo rovná ako 9,1 °C, pre parameter E sa použije nasledujúci vzťah:

$$E = 18,2194 \cdot \left(1,0463 - e^{-0,0666 \cdot t}\right) \quad [\text{hPa}] \quad (3.6)$$

kde

p_0 : relatívny tlak v hPa

p_h : absolútny tlak v hPa

g_0 : gravitačné zrýchlenie; 9,80655 m/s²

R^* : plynová konštanta suchého vzduchu; 287,05 m²/(s²K)

h : nadmorská výška v m

T : teplota v kelvinoch

t : teplota v °C

a : vertikálny teplotný gradient; 0,0065 K/m

E : tlak pár vodnej pary v hPa

Ch : koeficient, ktorý berie k úvahu priemernú zmenu tlaku pár s výškou; 0,12 K/hPa

Rosný bod možno spočítať z nameranej teploty a vlhkosti podľa vzťahu 8 z [18]:

$$t_d = \frac{B_1 \cdot \left[\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{A_1 \cdot t}{B_1 + t}\right]}{A_1 - \ln\left(\frac{RH}{100}\right) - \frac{A_1 \cdot t}{B_1 + t}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.7)$$

kde

t_d : rosný bod v °C

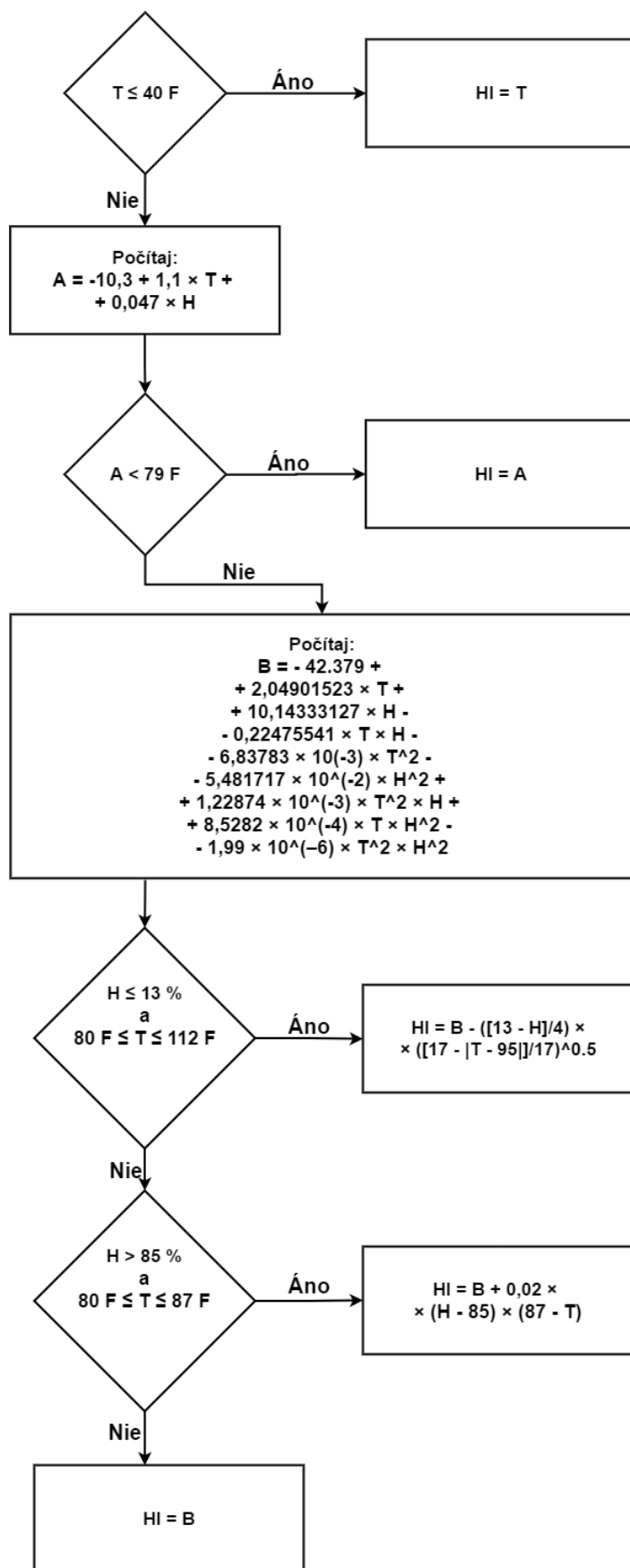
RH : relatívna vlhkosť v %

t : teplota v °C

A_1 : konštanta 17,625

B_1 : konštanta 243,04

Ďalšou počítanou veličinou je pocitová teplota. Pre jeho výpočet je použitá metóda z [10] obrázok 3.



Obr. 3.5: Metóda výpočtu pocitovej teploty

kde

H : vlhkosť v %

T : teplota v °F

HI : HI (Heat index – pocitová teplota)

F : jednotka stupeň fahrenheit

Výsledok v °F je potrebné prepočítať do °C:

$$T = (F - 32) \cdot \frac{5}{9} \text{ [°C]} \quad (3.8)$$

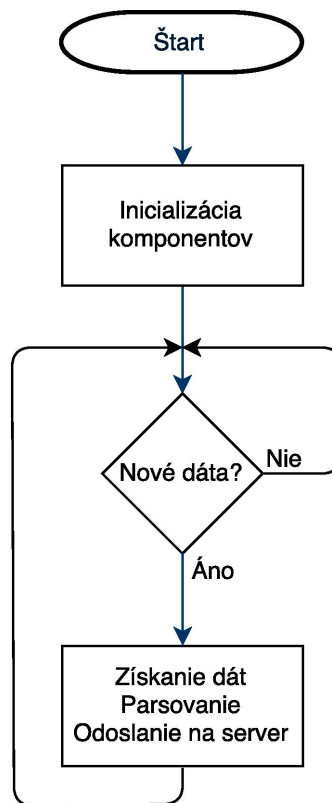
kde

T : teplota v °C

F : teplota v °F

CC3200

Činnosť CC3200 Launchpad-u je založená na preposielaní dát z RF na WiFi. Vývojový diagram je na obrázku 3.6.



Obr. 3.6: Vývojový diagram pre CC3200 LaunchPad

Po inicializácii program čaká na dáta z RF prijímača, ktoré následne spracuje a odošle na webserver pomocou HTTP (Hypertext transfer protocol – Hypertextový prenosový protokol) požiadavky.

Web server

Pre ukladanie dát sa využíva MySQL tabuľka 3.7, čo je SQL relačný databázový server. Pre uloženie do databáze je script v PHP, ktorý vezme dáta z URL (Uniform Resource Locator – Jednotný vyhľadávač zdrojov) adresy, ktorá má predpísaný nasledujúci formát:

Výpis 3.1: Ukážka HTTP hlavičky pre príjem dát

<code>http://avmeteo.xyz/prijem.php?celsiusIn=x&celsiusOut=x</code>	1
<code>&pressure=x&humidity=x&dewPoint=x&heatIndex=x</code>	2
<code>&windSpeed=x&rainGauge=x&windDirection=x&rainFinal=x</code>	3

- `http://avmeteo.xyz` – adresa, kde sa nachádza web s nameranými údajmi.
- `prijem.php` – php skript pre príjem a uloženie dát do databáze.
- ostatné – parametre pre metódu POST a parsovanie požadovaných dát z URL.

Počasie
+dátum: date
+teplota vnútri: float
+teplota vonku: float
+tlak: float
+vlhkosť: float
+rosný bod: float
+pocitová teplota: float
+rýchlosť vetra: float
+smer vetra: varchar(2)
+množstvo zrážok: float
+zrážky za hodinu: int

Obr. 3.7: SQL tabuľka pre ukladanie dát

4 VÝSLEDKY PRÁCE

Výsledkom práce je zobrazenie aktuálnych dát a štatistiky za určité obdobie. Ukážku možno vidieť na obrázkoch 4.1 a 4.2. Webové rozhranie obsahuje 3 jazykové mutácie (slovenčina, čeština, angličtina). Zobrazenie štyroch, naposledy aktualizovaných aktuálnych hodnôt (teplota, tlak, vlhkosť, rosný bod) so zobrazením smeru a rýchlosti vetra. Ďalšia časť je rozdelená na 3 záložky:

- Grafy – teplota, tlak, vlhkosť, rosný bod, zrážky a rosný bod. Pre každý graf je možné zvoliť zobrazený časový rozsah (celé obdobie, posledný deň/týždeň/mesiac/rok).
- Dáta – tabuľka zmeraných dát
- Štatistika – zobrazenie štatistiky merania za celé obdobie (minimálne a maximálne hodnoty)

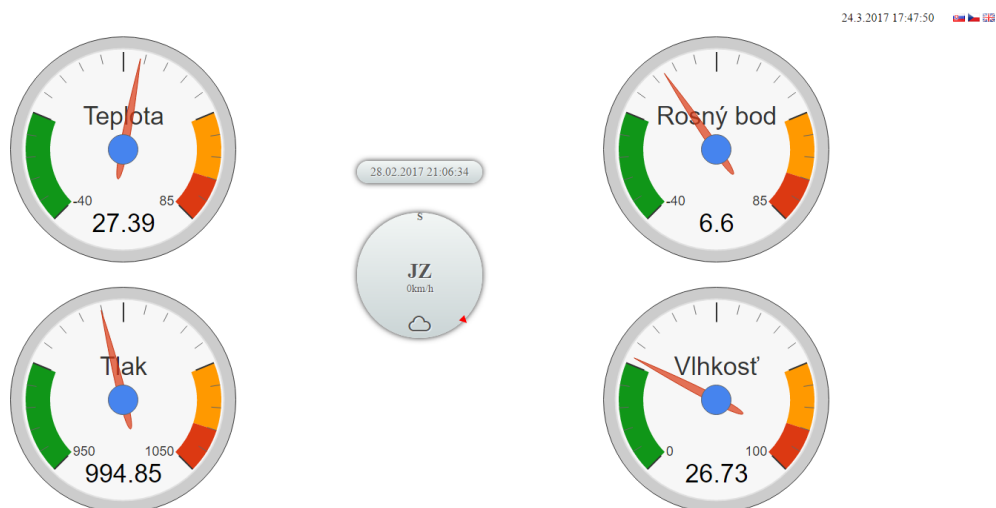
Množstvo dát, ktoré CC3200 spotrebuje pre odosielanie na webserver bolo určené z testovania počas 4 dní, počas ktorých sa spotrebovalo 8,05 MB. Z tohoto vyplýva približná denná spotreba 2 MB, mesačná spotreba 60 MB. Aplikácia je preto vhodná aj pre pomalšie internetové pripojenia a výrazne neovplyvňuje ostatné pripojené zariadenia.

Cena zariadenia je približne 3110 Kč. Detailnejší rozpis možno vidieť v tabuľke nižšie.

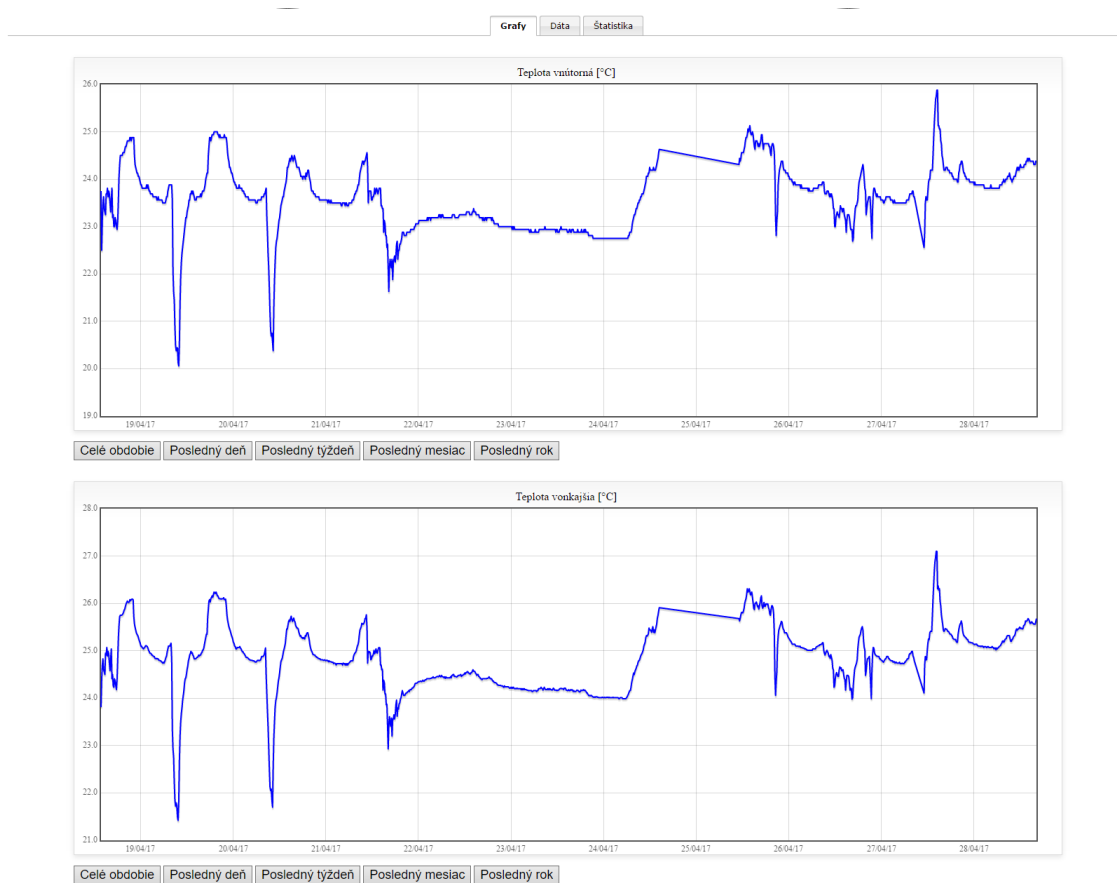
Tab. 4.1: Cena zariadenia

Názov	Cena [Kč]
Senzory	160
Anemometer	580
ATmega328P	200
CC3200 Launchpad	800
nRF24L01+	100
Ostatné	1000

V riadku ostatné je zahrnutá cena výroby dosky plošných spojov, pasívnych súčiastok a krabičky. V cene nie je zahrnutá prevádzka webovej stránky, pretože môže byť využité zariadenie Raspberry Pi, čo je jednoduchý počítač, na ktorom je možné prevádzkovať lokálny webový server. V prípade využitia externej služby (hostingu) je potrebné pripočítať k cene 400 Kč/rok a 200 Kč/rok za doménu.



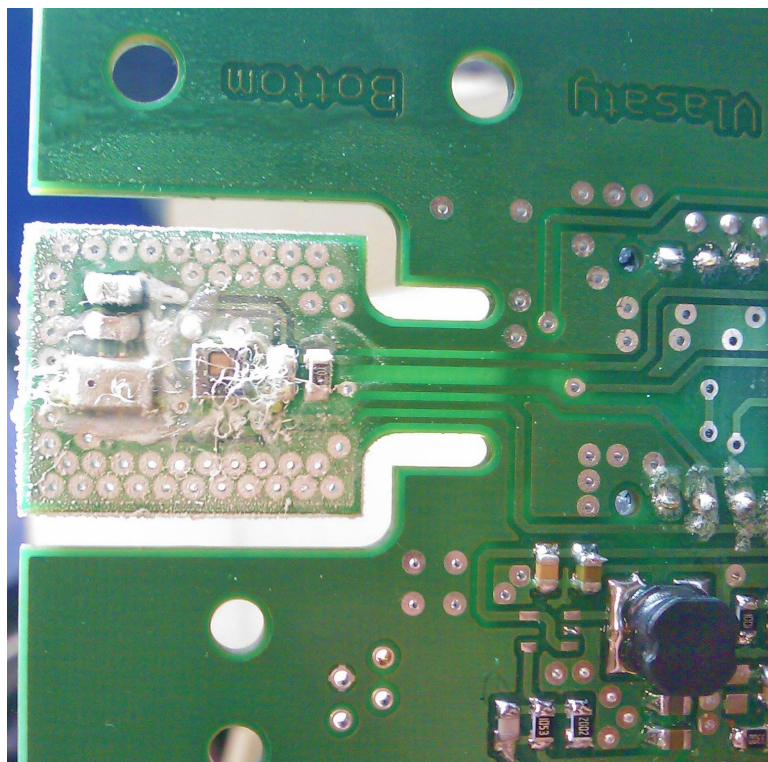
Obr. 4.1: Aktuálne dáta



Obr. 4.2: Štatistika dát

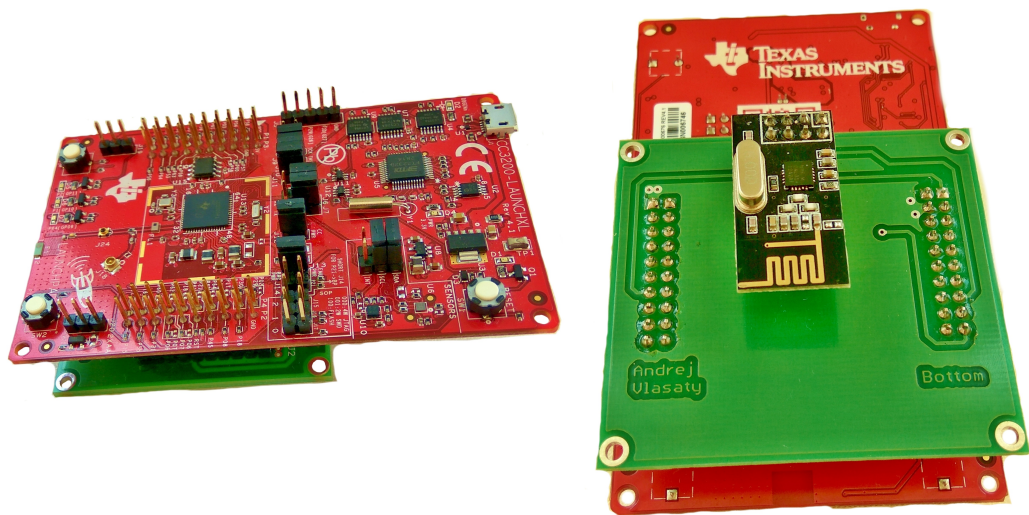
Ako rozšírenie do ďalšej verzie bude snímanie UV indexu, možnosť zaznamenávania dát na externú SD kartu s voliteľným pripojením k internetu - WiFi/ethernet. Rozšírenie možnosti napájať CC3200 pomocou fotovoltackého panelu.

Počas realizácie a testovania meteostanice bol otestovaný teplotný snímač na najnižšiu úvádzanú teplotu výrobcom [5] $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomocou stlačeného plynu (viď. obr. 4.3).

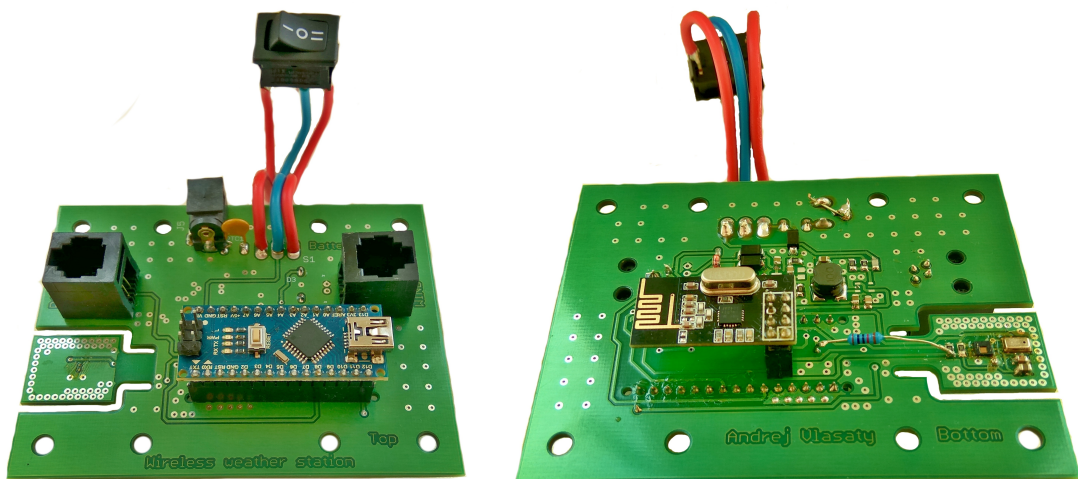


Obr. 4.3: Test teplotného snímača HDC1080 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

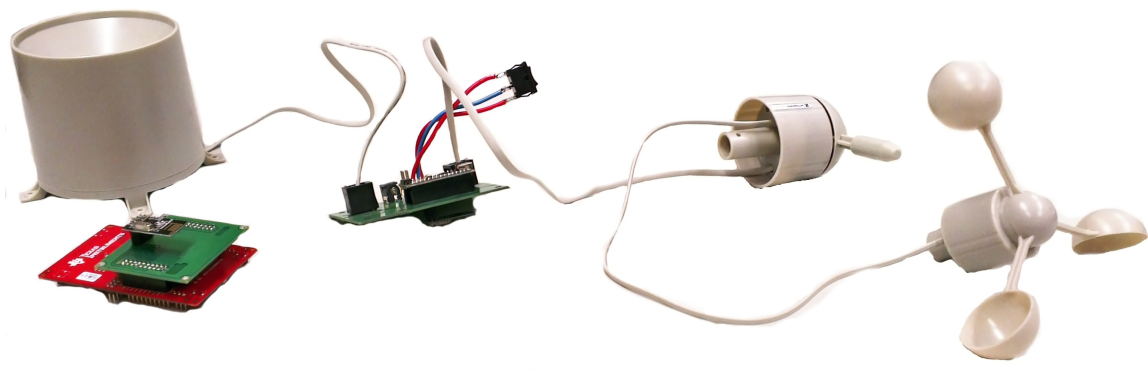
Ukážky realizovanej meteostanice sú zobrazené na obrázkoch nižšie.



Obr. 4.4: CC3200 DPS



Obr. 4.5: ATmega328P DPS



Obr. 4.6: Ukážka hotového zariadenia

4.1 Inštalácia zariadenia

Pred prvým spustením meracieho zariadenia je nutných niekoľko krokov k správnej funkčnosti.

1. K dispozícii webový server.¹
2. MySQL databáza, do ktorej bude možné nahrať tabuľku pre ukladanie dát.
3. V programe pre CC3200 upraviť IP adresu pre odosielanie dát (viď. bod č.1) a údaje k WiFi pripojeniu (SSID a heslo).

V prípade splnenia bodov 1 až 3 a správneho nainštalovania zariadenia, ako prvé spustíme prijímaciu časť - CC3200, počkáme približne 1 minútu kým sa zariadenie správne inicializuje a pripojí k WiFi. Následne spustíme snímacu časť a v prípade správnosti je možné do 15 sekúnd nájsť prvý záznam na webovej stránke.

¹Vhodné je taktiež mať presmerovanú doménu k tomuto hostingu pre jednoduchší prístup na web s dátami, v opačnom prípade by bolo potrebné pristupovať len pomocou IP adresy.

5 ZÁVER

Cielom práce bol návrh a následná realizácia bezdrôtovej meteostanice určenej pre modelárov. Výsledok práce je navrhnutý, realizovaný a otestovaný systém pre vzdialené monitorovanie meteorologických veličín so zobrazením údajov online na webovom prostredí s možnosťou zobrazenia histórie meraných záznamov.

Úvod a rešerš práce sa zaoberá všeobecnou problematikou meteorologických staníc, parametrov pri výbere a následnej inštalácii v exteriéry. V teoretickej časti je popísaný výber komponentov, ich parametrov a popis komunikačných protokolov použitých v zariadení. Pre bezdrôtovú komunikáciu je využitý modul nRF24L01+ komunikujúci pomocou SPI rozhrania. Pre pripojenie k WiFi je použitá vývojová platforma CC3200 Launchpad. Spolu s MCU ATmega328P tvoria hlavné jadro celého systému.

Posledná časť sa zaoberá realizáciou a výsledkami zariadenia. Bola realizovaná testovacia verzia DPS, ktorá bola osadená súčiastkami a oživená. Využitie zariadenia vychádza z požiadavok pre modelárov. Zariadenie však možno taktiež využiť v domácnosti, na chate, prípadne kdekoľvek kde je k dispozícii WiFi pripojenie.

Rozdelenie aplikácie na 2 časti (ATmega328P a CC3200 LaunchPad) nie je nutné, je to z dôvodu predĺženia vzdialenosti meracích senzorov od WiFi pripojenia. V prípade použitia stanice v blízkosti WiFi pripojenia je možné využiť len CC3200 LaunchPad, čím sa zníži zložitosť a cena celej aplikácie.

Zariadenie bolo testované v laboratórnych podmienkach po 4 dňoch, počas ktorých zariadenie vykazovalo správnu činnosť. Meteostanica nebola testovaná v exteriéry, taktiež ani maximálna dosažiteľná vzdialenosť od WiFi pripojenia z dôvodu, počas návrhu nebol k dispozícii fotovoltaický panel. Pre správne zobrazenie rýchlosti vetru a množstvo zrážok je nutné oba senzory kalibrovať. Kalibrácia neprebehla kvôli náročnosti kalibrácie, pre rýchlosť vetru by bol potrebný veterný tunel pre presne definovanú rýchlosť vetru a následné odčítanie počtu impulzov odpovedajúcej tejto rýchlosti.

Na zariadení sa bude ďalej pracovať, prioritne pôjde o navrhnutie krabičky a testovanie v exteriéry. V budúcnosti bude meteostanica použitá pre modelárov a ako domáca meteostanica.

LITERATÚRA

- [1] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky* .. 6. vyd. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6.
- [2] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 6. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-383-8.
- [3] *AtMega328P datasheet* [online]. 2016 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <https://goo.gl/3xLphs>
- [4] *CC3200 datasheet* [online]. 2015 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/0wHzrD>
- [5] *HDC1080 datasheet* [online]. 2015 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/jzbU4N>
- [6] *Installing your Personal Weather Station* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://goo.gl/nXDxzw>
- [7] *I2C NXP popis* [online]. 2014 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/YZvQk4>
- [8] *I2C TI popis* [online]. 2015 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/1KruvB>
- [9] *LT1510 datasheet* [online]. [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <https://goo.gl/vsUX0a>
- [10] *Methods to Calculate the Heat Index as an Exposure Metric in Environmental Health Research* [online]. 2013 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://goo.gl/sNEr1I>
- [11] *MPL3115A2* [online]. 2015 [cit. 2016-12-08]. Dostupné z: <https://goo.gl/IdHrmP>
- [12] *MPL3115A2 datasheet* [online]. 2016 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/23du7k>
- [13] *nRF24L01+ datasheet* [online]. 2007 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/TdHaUp>

- [14] *nRF24L01+* [online]. 2013 [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <https://goo.gl/I0Gpa8>
- [15] *nRF24L01+* [online]. 2015 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <https://goo.gl/WNrqn>
- [16] *Reduktion auf Meereshöhe* [online]. 2016 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://goo.gl/WIB2yM>
- [17] *Serial peripheral interface in AVR microcontrollers* [online]. 2011 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <https://goo.gl/P4tok0>
- [18] *The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air* [online]. 2005 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://goo.gl/V5c10C>
- [19] *TPS560200 datasheet* [online]. 2016 [cit. 2016-11-29]. Dostupné z: <https://goo.gl/dDPhtC>

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

ACK	Acknowledge
ADC	Analog to Digital converter – Analógovo-digitálny prevodník
HI	Heat index – pocitová teplota
HTTP	Hypertext transfer protocol – Hypertextový prenosový protokol
IO	Integrated circuit – Integrovaný obvod
I2C	Inter-Integrated Circuit
I2S	Inter-IC Sound, Integrated Interchip Sound
LED	Light-emitting diode – Luminiscenčná dióda
LNA	Low Noise Amplifier – Zosilňovač slabých signálov
LSB	Least significant bit – Najmenej významný bit
MCU	Microcontroller – Mikrokontrolér
MISO	Master Input Slave Output
MOSI	Master Output Slave Input
MSB	Most significant bit – Najvýznamnejší bit
NACK	Not Acknowledge
SPI	Serial Peripheral Interface – Sériové Periférne Rozhranie
PA	Power amplifier – Výkonový zosilňovač
PWM	Pulse width modulation – Pulzne šírková modulácia
RF	Radio Frequency – Rádiové vlny
SDA	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line
SQL	Structured Query Language – Štruktúrovaný vyhľadávací jazyk
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter – Univerzálny asynchrónny prijímač/vysielač

URL	Uniform Resource Locator – Jednotný vyhľadávač zdrojov
USB	Universal Serial Bus – Univerzálna sériová zbernica

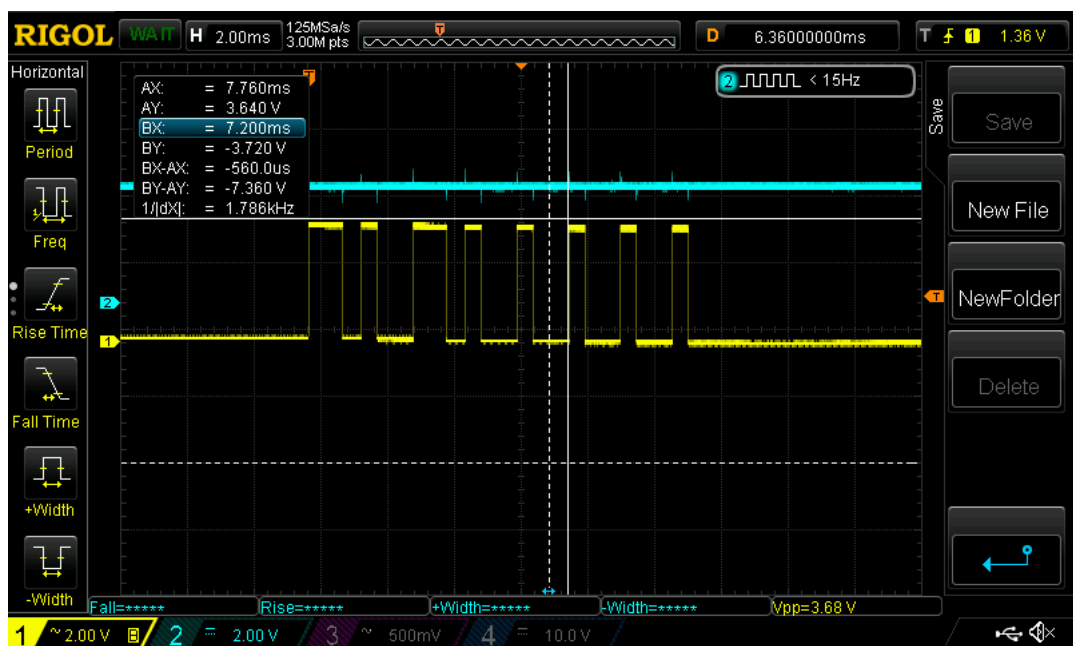
ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Príklad inštalácie meteostanice [6]	10
2.1	Príklad použitia I2C s 2 master zariadeniami	13
2.2	Zápis dát po I2C zbernici [8]	14
2.3	Multi-slave pripojenie k master [17]	15
2.4	Bezdrôtový modul nRF24L01+ [15]	16
2.5	Typické zapojenie HDC1080 [5]	19
2.6	Senzor tlaku MPL3115A2 [11]	20
2.7	Typické zapojenie MPL3115A2 [12]	21
2.8	Anemometer	22
2.9	Smer vetra - juh	23
3.1	Bloková schéma	25
3.2	Typické zapojenie LT1510 pre nabíjanie NiCd batérií [9]	26
3.3	Typické zapojenie TPS560200 [19]	27
3.4	Vývojový diagram pre ATmega328P	28
3.5	Metóda výpočtu pocitovej teploty	30
3.6	Vývojový diagram pre CC3200 LaunchPad	31
3.7	SQL tabuľka pre ukladanie dát	32
4.1	Aktuálne dáta	34
4.2	Štatistika dát	34
4.3	Test teplotného snímača HDC1080 -40 °C	35
4.4	CC3200 DPS	36
4.5	ATMega328P DPS	36
4.6	Ukážka hotového zariadenia	37
6.1	Smer vetra - sever	45
6.2	Anemometer východ	45
6.3	Anemometer západ	46
6.4	CC3200 s popisom pinov	47
6.5	Schéma shieldu pre CC3200 Launchpad	48
6.6	Schéma meracej časti	49
6.7	DPS shieldu pre CC3200 Launchpad	50
6.8	DPS pre meráciu častí	50

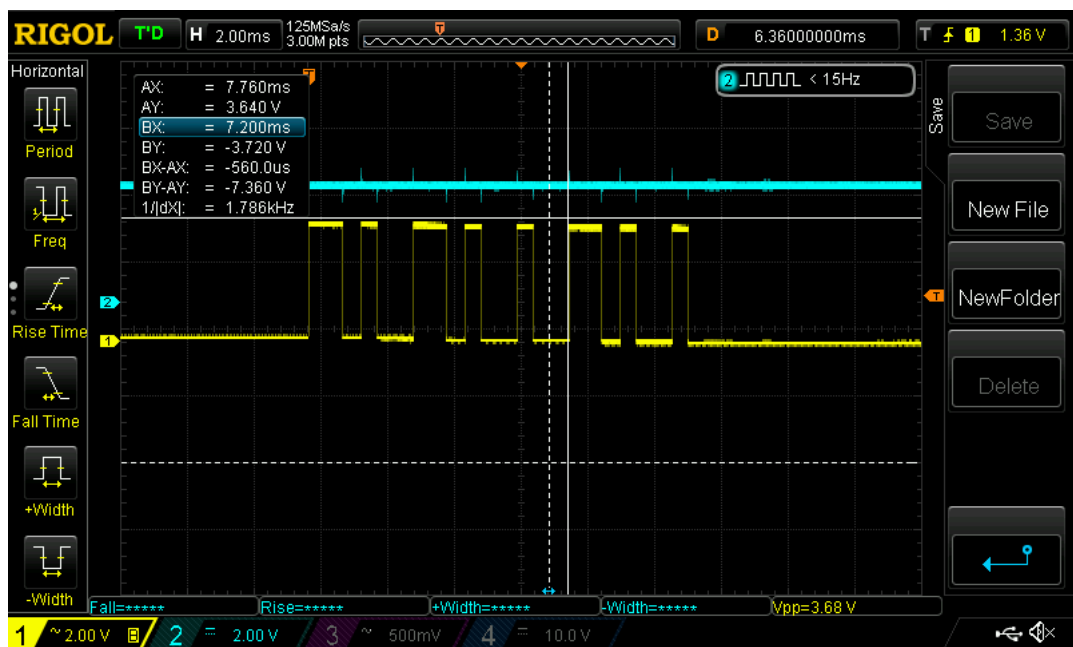
ZOZNAM TABULIEK

2.1	Parametre ATmega328P [3]	12
2.2	nRF24L01+PA+LNA modul	17
2.3	Mapa registrov nRF24L01+ [13]	17
2.4	Snímače teploty a vlhkosti	18
2.5	Mapa registrov HDC1080 [5]	19
2.6	Snímače tlaku	20
2.7	Tabuľka prevodu data na smer	23
4.1	Cena zariadenia	33

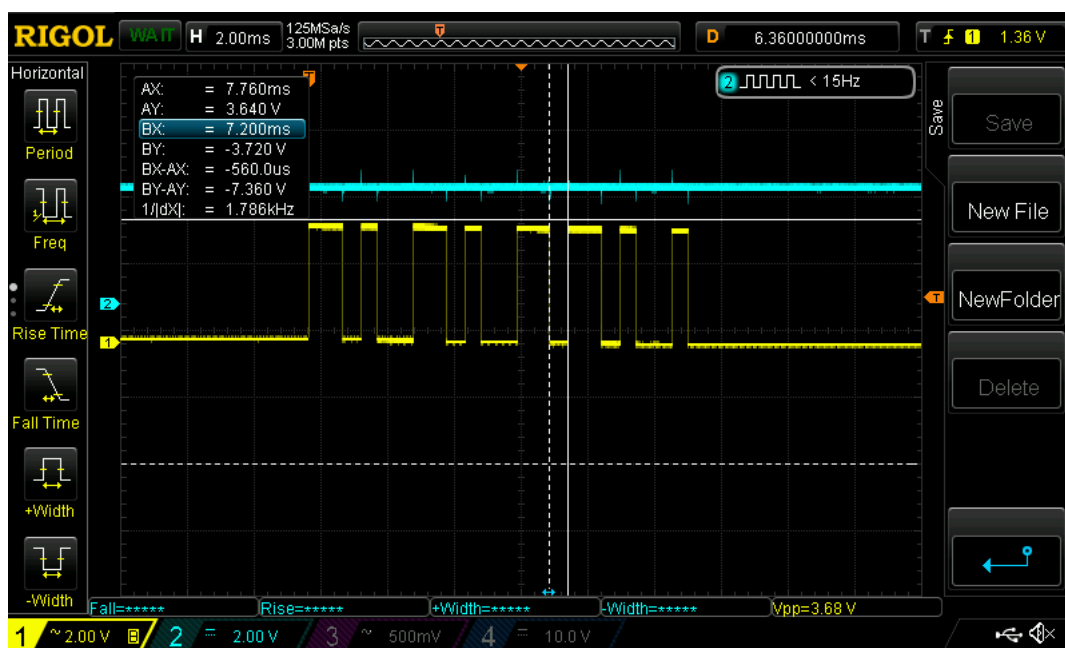
6 PRÍLOHY



Obr. 6.1: Smer vetra - sever



Obr. 6.2: Anemometer východ



Obr. 6.3: Anemometer západ

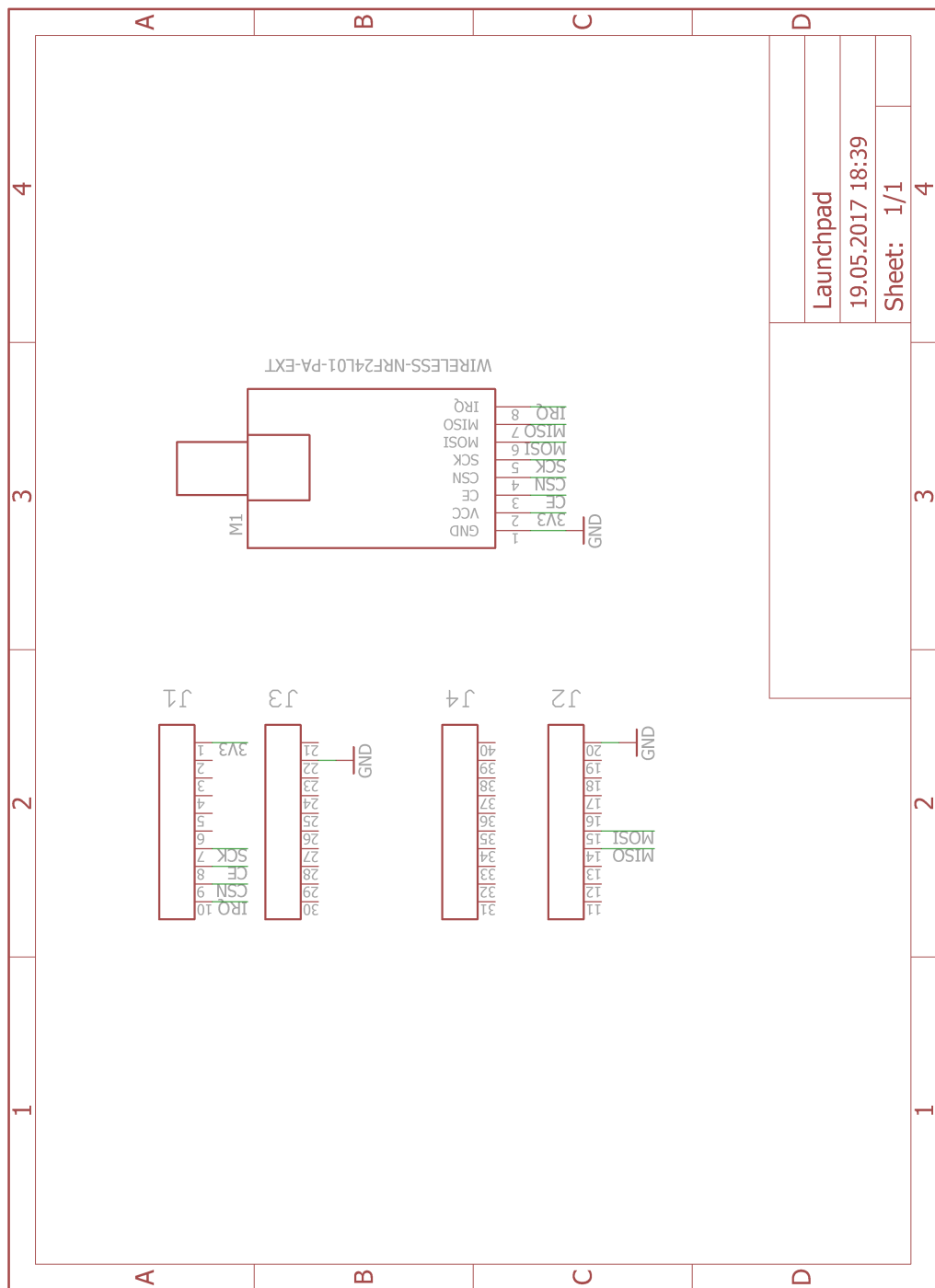
Storage in Flash, execution in SRAM

Rei Vilo, 2012-2015
version 1.4
2015-07-20
embeddedcomputing.weebly.com

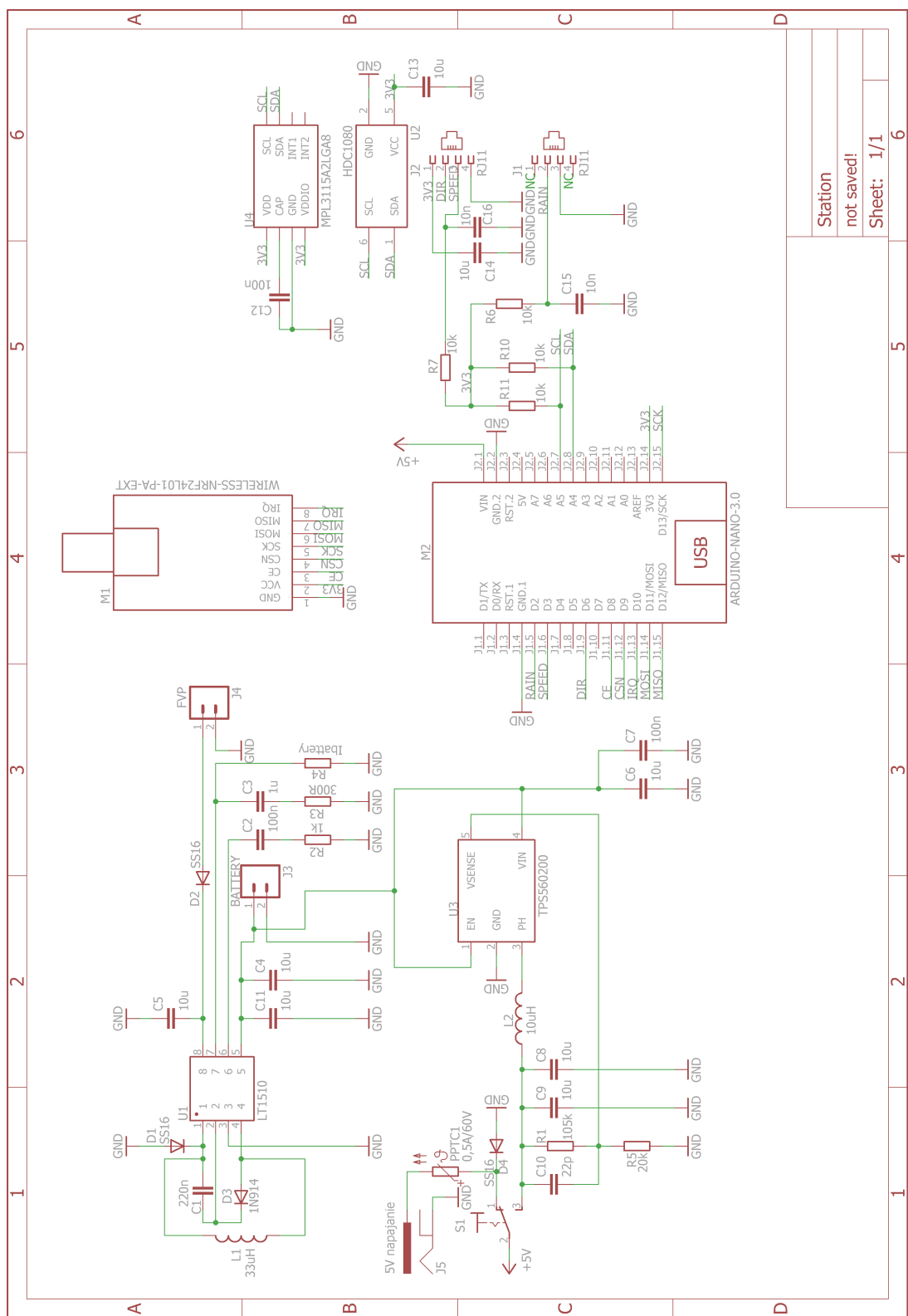
Revision 3.2

[illegible]

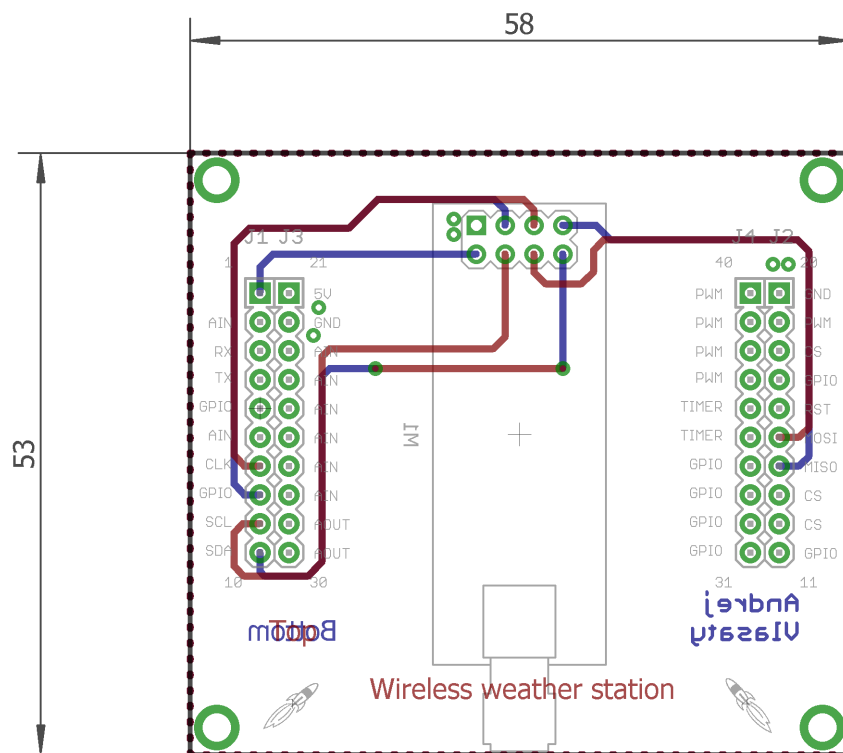
Obr. 6.4: CC3200 s popisom pinov



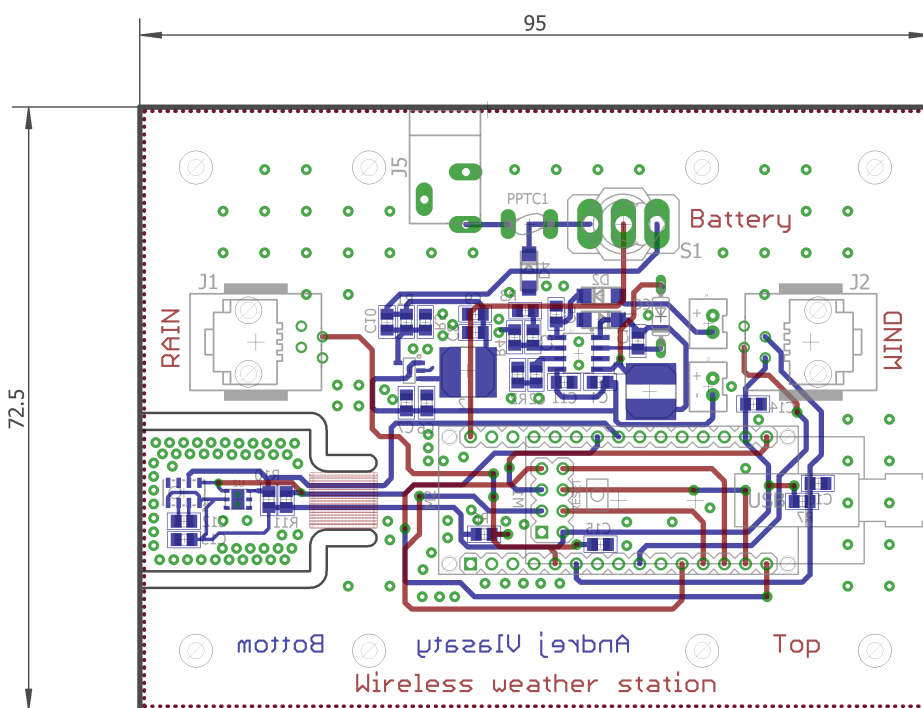
Obr. 6.5: Schéma shieldu pre CC3200 Launchpad



Obr. 6.6: Schéma meracej časti



Obr. 6.7: DPS shieldu pre CC3200 Launchpad



Obr. 6.8: DPS pre meraciu čast

Obsah priloženého CD

/	.....	koreňový adresár priloženého CD	
|	nastaveni.tex	.....súbor pre nastavenia údajov práce	
|	readme.txt	.....súbor s popisom obsahu CD	
|	sablona.tex	..... súbor pre sazbu kvalifikačnej práce	
|	thesis.sty	..... balíček pre sazbu kvalifikačných prác	
|	xvlasa10_bp_2017.pdf	.....táto práca	
|	obrazky	.....obrázky	
|	program	..... zdrojové súbory pre mikroprocesory	
|	|	cc3200	..... zdrojové súbory pre CC3200 Launchpad
|	|	atmega328P	..... zdrojové súbory pre ATmega328P
|	schémy	.....schémy plošných spojov	
|	|	cc3200	..... schéma pre CC3200 shield
|	|	atmega328P	..... schéma pre meráciu čast
|	text	..... zdrojové textové soubory	
|	|	uvod.tex	
|	|	resers.tex	
|	|	teoria.tex	
|	|	riesenie.tex	
|	|	vysledky.tex	
|	|	zaver.tex	
|	|	literatura.tex	
|	|	zkratky.tex	
|	titulne stranky	..... stránky generované informačných systémom	
|	|	student-desky.pdf	
|	|	student-titulka.pdf	
|	|	student-zadani.pdf	
|	web	..... zdrojové súbory pre webové rozhranie	